

УДК 621.07.044.4:664.1

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.12

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ОТРИМАННЯ ФРУКТОЗО-ОЛІГОСАХАРИДНИХ СУМІШЕЙ

**А. І. МАРИНІН, С. В. ПОЗНЯКОВСЬКИЙ, Н. М. БРЕУС, Р. С. СВЯТНЕНКО\***

Національний університет харчових технологій, Київ, УКРАЇНА

\*e-mail: Svyatnenko@i.ua

**АНОТАЦІЯ** Створення продуктів оздоровчого призначення на основі сировини, яка містить у своєму складі значну кількість інуліну, розширення асортименту за рахунок біологічно активних добавок – важливий напрямок розвитку харчової промисловості. Але ця продукція часто має іноземне походження та високу вартість. Тому на сьогодні нагальною необхідністю є розроблення вітчизняних продуктів харчування профілактичного призначення на основі рослинної сировини, зокрема інуліноносіїв. На сьогоднішній день в харчовій і переробній промисловості все більше знаходять застосування електрофізичні методи обробки харчових продуктів і напівпродуктів, одним з яких є електрогідролічна обробка. Основними перевагами цієї технології, є збереження харчових властивостей продуктів, універсальність, яка дозволяє застосовувати їх в різних технологічних процесах, економічність завдяки використанню цілого комплексу високо інтенсивних фізичних факторів, екологічність за рахунок виключення використання тепла. У Проблемній науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій були проведені експериментальні дослідження з метою вивчення дії впливу електрогідролічної обробки на гідроліз інуліну. Дослідження проводилися з використанням експериментальної установки, розробленої фахівцями НУХТ. Дослідження проводили наступним чином: інулін розводили у воді при кімнатній температурі до вмісту сухих речовин у розчині або суспензії від 2 до 30 %. Для набухання зерен полісахариду порошки замочували у воді на 72 години, після чого зразки піддавали електрогідролічному обробленню на експериментальній установці при напрузі 30, 35 та 40 кВ. Під час дослідження було з'ясовано, що незалежно від концентрації суспензії порошку цикорію та інуліну, найбільш раціональним є режим електрогідролічного оброблення з напругою 35 кВ та кількістю розрядів 20...30, що сприяє найбільшому переходу редукувальних речовин. Експериментально встановлено вплив режимів електрогідролічного оброблення на подрібнення порошку цикорію, наслідком чого є збільшення дисперсності, що покращує процес гідролізу. Доведено, що зростання кількості розрядів призводить до активації в цих умовах рекомбінаційних процесів.

**Ключові слова:** електрогідролічне оброблення; цикорій; гідроліз інуліну; редукувальні речовини; двох факторна модель

## STUDY OF THE EFFECT OF ELECTRO-HYDRAULIC TREATMENT ON RECEIVING OF FRUCTOSE - OLIGOSACHARIDE MIXTURES

**A. MARYNIN, S. POZNYAKOVSKY, N. BREEUS, R. SVYATNENKO**

National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

**ABSTRACT** The creation of health products based on raw materials, which contains a significant amount of inulin, expands the range of products due to dietary supplements, which is an important direction in the development of the food industry. But this product often has a foreign origin and is expensive. Therefore, today it is a necessity to develop domestic prophylactic food products based on vegetable raw materials, in particular, inulin. Today, in the food and processing industry, electro physical methods for the processing of food products and semi-products are increasingly being used, one of which is electrohydraulic treatment. Experimental studies were conducted at the Problem Research Laboratory of the National University of Food Technologies to study the effect of electrohydraulic treatment on inulin hydrolysis. The studies were carried out using an experimental installation developed by NUFT specialists. The studies were carried out as follows: inulin was diluted in water at room temperature to a dry solids content of 2 to 30% in a solution or suspension. Powders were soaked in water for a period of 72 hours to swell polysaccharide grains, after which the samples were subjected to electrohydraulic treatment at an experimental installation at a voltage of 30, 35 and 40 kV. During the study, it was found that regardless of the concentration of suspension of chicory and inulin, the most rational is the regime of electrohydraulic treatment with a voltage of 35 kV and the number of discharges of 20 ... 30, which contributes to the greatest transition of reducing agents. It was established, that regardless of the concentration of chicory powder and inulin suspension, the most rational is the mode of electro-hydraulic treatment with a voltage of 35 kV and the number of discharges 20 ... 30, which contributes to the greatest transition of reducing substances. The influence of regimes of electrohydraulic treatment on crushing chicory powder has been experimentally determined, resulting in an increase in dispersion, which improves the process of hydrolysis. It is proved that an increase in the number of discharges leads to activation of recombination processes under these conditions.

**Keywords:** electro-hydraulic treatment; chicory; inulin hydrolysis; reducing agents; two factor model

### Вступ

Основною проблемою традиційних способів оброблення рослинної сировини, яка є одним з основних об'єктів перероблення у харчовій,

фармацевтичній, мікробіологічній, хімічній та інших галузях народного господарства, є недостатньо висока ефективність та глибина перероблення.

Нині, перспективним напрямом у розробленні нових процесів харчових виробництв є застосування електрофізичних методів оброблення.

Рядом дослідників [1-11], доведено перспективність електрофізичної обробки, як напрямку для харчової промисловості з метою інтенсифікації технологічних процесів і покращення якості продуктів і напівфабрикатів, зокрема для виробництва цукру, крохмалю, інуліну, фруктози тощо.

Електрогідрравлічне оброблення (ЕГО) засноване на механічній дії каналу розряду, що розширюється, та короточасного імпульсного розряду.

Як відомо [12], при ЕГО в рідині теплова дія на об'єкт практично відсутня, а механічний вплив відбувається внаслідок безпосереднього електричного контакту, через рідинну фазу. В той же час основним джерелом впливу на внутрішні дифузійні процеси при екстрагуванні є акустичні пружні хвилі, що виникають під час розряду [13].

При дії пружних хвиль кінцевої амплітуди на рослинну сировину в клітинах останньої виникають складні структурні напруження [14].

#### Мета роботи

Метою роботи є вивчення впливу режимів імпульсного ЕГО на суспензії цикорію та розчину інуліну.

#### Виклад основного матеріалу

Найбільш поширеним способом отримання фруктозо-олігосахаридних сумішей є гідроліз інуліну.

Процес гідролізу – це деструкція полісахариду під впливом молекул води, при цьому в молекулі полісахариду розриваються глікозидні зв'язки і по місцю розриву приєднуються елементи молекули води (H, OH). В результаті утворюються молекули моносахаридів. При неповному гідролізі з полісахариду утворюються олігосахариди.

Серед способів гідролізу інуліну найбільш розповсюдженим є оброблення його розчинів або суспензій мінеральними чи органічними кислотами за умов нагрівання [15-17]. При цьому продукти гідролізу – фруктоза і олігосахариди нижчого ступеню полімеризації, ніж інулін (так звані фруктани), забруднюються продуктами дегідратації та розкладу.

Відомо [18,19], що серед розповсюджених способів одержання фруктозо-олігосахаридних або ж інулоолігосахаридних сиропів з інуліну є гідроліз інуліну за допомогою ензимів, згідно з яким розчин інуліну піддається ензиматичному гідролізу з подальшим відокремленням ферментативного препарату, нейтралізацією, концентруванням і знебарвленням отриманого сиропу. Крім того, для

повного і часткового гідролізу інуліну застосовуються іонообмінні смоли.

До недоліків гідролізу за допомогою кислот слід віднести значну кількість продуктів розкладу та барвникових речовин. Ензиматичний гідроліз та використання іонообмінників вимагають застосування методів хроматографії та технічно складного і високовартісного обладнання, використання якого вимагає додаткових витрат.

Гідроліз за допомогою імпульсної ЕГО здійснювали таким чином: Інулін розводили у воді при кімнатній температурі до вмісту сухих речовин у розчині або суспензії від 2 до 30 %. У разі приготування суспензії її добре перемішували. Порошки для приготування суспензій попередньо замочували у воді на 72 години для набухання зерен полісахариду, що в подальшому сприяло найповнішому гідролізу зразків. Приготовлений розчин або суспензію піддавали ЕГО на експериментальній установці при напрузі 30, 35 та 40 кВ.

#### Обговорення результатів.

На рис. 1-2 показано залежність вмісту редукувальних речовин в гідролізаті водних суспензій інуліну від режимів оброблення: кількості високовольних розрядів та напруги розряду.

Величина достовірності апроксимації складала 98,1 % ... 99,5 %.

При 20-ти розрядах в одержаному розчині вміст фруктози становив 3,05 %, загальний ступінь гідролізу – 55,4 % від вихідної кількості інуліну.

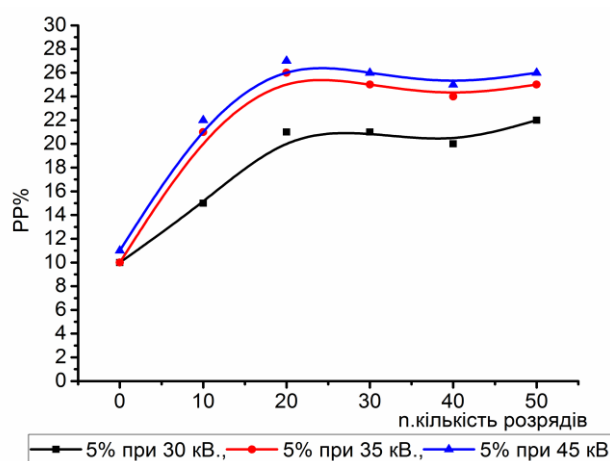


Рис. 1. – Залежність вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (5 %)

Для порівняння оцінки впливу ЕГО на інуліновмісні продукти готували суспензії цикорію 5 % та 30 % з попереднім витриманням у воді за кімнатної температури, оскільки початкова стадія будь-якого екстрагування висушеної рослинної сировини супроводжується набуханням, тобто

проникненням екстрагенту в сировину і відповідно зміною початкового об'єму, що збільшує шлях дифузії сполук до поверхні частинки. Результати експериментальних досліджень наведено на рис. 3. та на рис. 4.

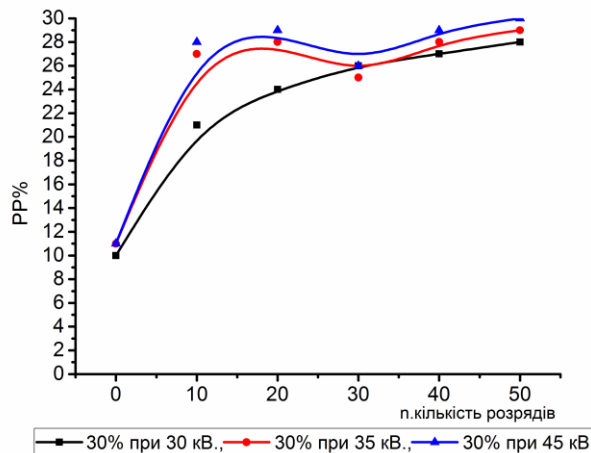


Рис. 2 – Залежність вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (30%)

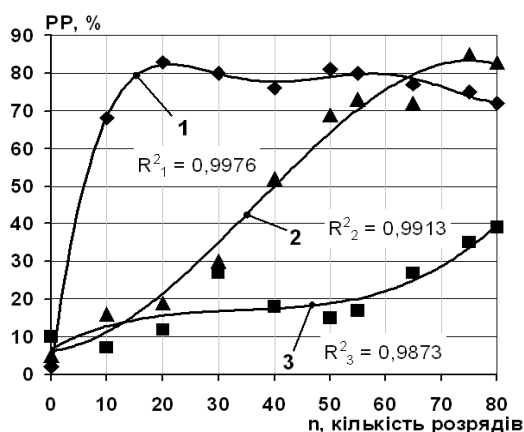


Рис. 3 – Вплив ЕГО з напругою 35 кВ водної суспензії не обсмаженого порошку цикорію 5 %, на вміст редукувальних речовин:

◆ – свіжесмішаної суспензії; ■ - попередньо витримана 24 години; ▲ - попередньо витримана 24 години та 72 години після оброблення

Аналіз представлених результатів свідчить, що найбільш раціональним режимом вилучення редукувальних речовин є ЕГО суспензії цикорію в режимі з напругою 35 кВ та кількості розрядів від 20...30, в залежності від концентрації суспензії.

Інулін є малостійкою сполукою до механічних впливів, тому його молекули руйнуються (фрагментуються) при незначному прикладанні механічних зусиль.

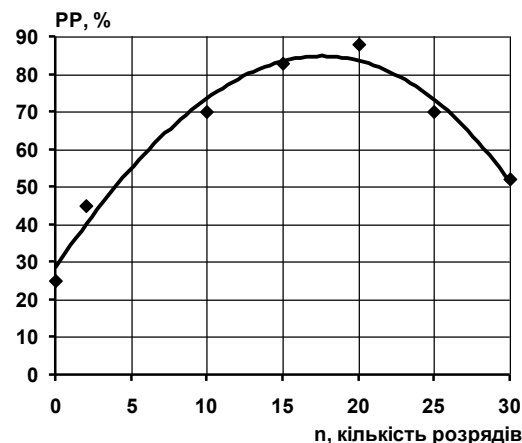


Рис. 4 – Вплив ЕГО з напругою 35 кВ водної суспензії не обсмаженого порошку цикорію 30 %, попередньо витриманого 24 години, на вміст редукувальних речовин

Цикорій являється більш перспективним для практичного застосування в харчовій промисловості порівняно з чистим інуліном, тому що крім інуліну, в ньому міститься багато інших біологічно активних речовин, введення яких в харчові продукти у складі цикорію є бажаним [20-24].

Внаслідок комплексу фізичних явищ, що виникають під час високовольтного розряду у рідині, відбувається механічний розрив молекул інуліну по місцю глікозидних зв'язків між фруктозними структурними одиницями з приєднанням молекул води, тобто відбувається частковий гідроліз інуліну. При цьому деяка частина молекул інуліну перетворюється в кінцевий продукт повного гідролізу – фруктозу.

Використання ЕГО для здійснення процесу гідролізу інуліну забезпечує нейтральну реакцію вихідного середовища, відсутність добавок інших хімічних агентів, тобто досягається збільшення чистоти утворених фруктозо-олігосахаридних сумішей порівняно з традиційними способами гідролізу.

Для обробки експериментальних даних вмісту редукувальних речовин, моделювання виконано за допомогою двох факторної нелінійної (степеневі) регресійної моделі Кобба-Дугласа, яка в загальному має вигляд:

$$Y = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} + \varepsilon \quad (1)$$

$b_0$  - вільний член, який визначає значення  $Y$ , в разі, коли всі незалежні змінні  $X_i$  рівні 0.

$b_1, b_2$  - показують наскільки зміниться результативна ознака, при зміні на одиницю вимірювання кожного незалежного фактора  $x_1$  та  $x_2$ .

$b_0$  - вільний член, який визначає значення  $Y$ , в разі, коли всі незалежні змінні  $X_i$  рівні 0.

$b_1, b_2$  – показують наскільки зміниться результативна ознака, при зміні на одиницю вимірювання кожного незалежного фактора  $x_1$  та  $x_2$ .

При визначенні вмісту редукувальних речовин, %:  $x_1$  – напруга, кВ;

$x_2$  – кількість розрядів;

$Y$  – вмісту редукувальних речовин, %;

$\varepsilon$  – випадкова змінна, що характеризує відхилення факторів  $x_1, x_2$  від лінії регресії (залишкова змінна).

В нашому дослідженні – математичне сподівання випадкового відхилення  $\varepsilon_i$  дорівнює 0 для всіх спостережень ( $M(\varepsilon_i) = 0$ ).

Для оцінки невідомих параметрів  $b_0, b_1, b_2$  застосовано метод найменших квадратів (МНК). Згідно з методом невідомі параметри функції вибираються таким чином, щоб сума квадратів відхилень експериментальних (емпіричних) значень  $Y_i$  від їх розрахункових (теоретичних)  $Y_{ip}$  значень була мінімальною, тобто:

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{ip})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \varphi(X_i, b_0, b_1, \dots, b_k))^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Моделювання та обробка експериментальних даних виконувались за допомогою математичного пакету MathCad15.

Отримані рівняння математичних моделей мають вигляд:

Рівняння, що описує кількісний вміст редукувальних речовин розчин інуліну 5%:

$$Y_{5\%} = 1.105 \cdot x_1^{0.781} \cdot x_2^{0.079} \quad (3)$$

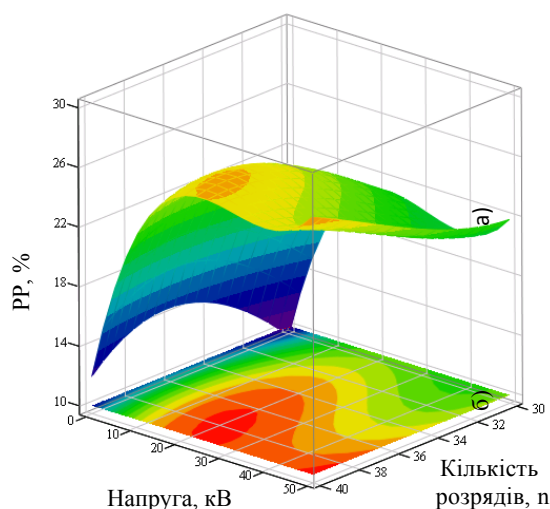


Рис. 5 – 3D графік (а) та графік постійних значень (б) залежності вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (5 %) від режимів оброблення

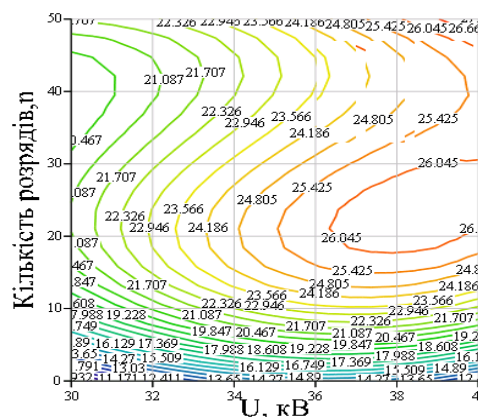


Рис. 6 – Контури постійних значень вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (5 %) від режимів оброблення

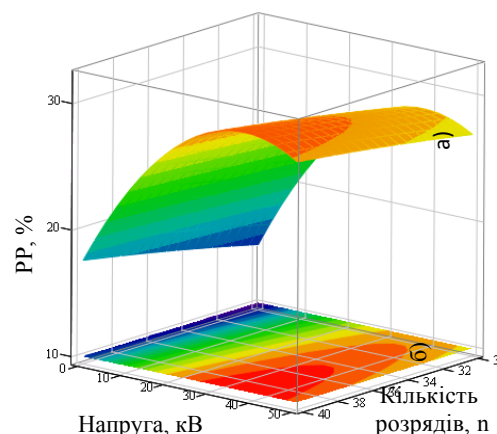


Рис. 7 – 3D графік (а) та графік постійних значень (б) залежності вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (30 %) від режимів оброблення

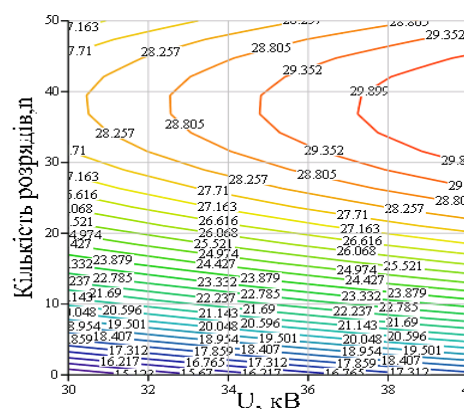


Рис. 8 – Контури постійних значень вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (30%) від режимів оброблення

Рівняння, що описує кількісний вміст редукувальних речовин розчин інуліну 30%:

$$Y_{30\%} = 4.501 \cdot x_1^{0.423} \cdot x_2^{0.092} \quad (4)$$

Адекватність моделей перевірена за коефіцієнтами детермінації  $R^2Y5\%=96\%$ ,  $R^2Y30\%=98\%$ , що свідчить про високу якісну характеристику зв'язку коефіцієнтів системи, а також зроблено перевірку за допомогою F-тесту (F-критерій Фішера) та t-розподілу Ст'юдента для оцінки надійності коефіцієнтів кореляції, що підтверджено графічно.

### Висновки

Встановлено, що незалежно від концентрації суспензії порошку цикорію та інуліну, найбільш раціональним є режим електрогідралічного оброблення з напругою 35 кВ та кількістю розрядів 20...30, що сприяє найбільшому переходу редукувальних речовин. Експериментально встановлено вплив режимів електрогідралічного оброблення на подрібнення порошку цикорію, наслідком чого є збільшення дисперсності, що покращує процес гідролізу. Доведено, що зростання кількості розрядів призводить до активації в цих умовах рекомбінаційних процесів.

Отримані результати свідчать про доцільність продовження роботи в цьому напрямку.

### Список літератури

1. Дашковский, Ю. А. Влияние электроискровых разрядов на свойства и качественные показатели сокоотружковой смеси / Ю. А. Дашковский, А. И. Маринин, Ж. И. Прохоренко, А. И. Украинцев // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 44 (1214). – С. 55-60. – doi: 10.20998/2413-4295.2018.26.32
2. Святненко, Р. С. Вивчення впливу електрофізичних методів обробки на мікробіологічні показники харчових продуктів / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – 2017. – Вип. 1 (96). – С. 125-130. – doi: <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/25649>.
3. Святненко, Р. С. Дослідження впливу імпульсних електромагнітних полів на органолептичні показники незбираного молока / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко, М. І. Бойко // *НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Харчові технології*. – 2017. – 19 (75). – С. 157-160.
4. Святненко, Р. С. Вплив імпульсного електромагнітного поля на життєздатність *Escherichia coli* в модельному розчині молочної сироватки / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-

- Литвиненко, В. Захаревич // *НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Харчові технології*. – 2016. – Вип. 18 (2). – С. 92-94. – doi: 10.15421/nvlvet6818.
5. Святненко, Р. С. Вплив імпульсного електромагнітного поля на життєздатність *Escherichia coli* в модельному розчині води / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, А. І. Українець, О. В. Кочубей-Литвиненко // *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. – 2016. – Вип. 252. – С. 185-191. – doi: <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/25598>.
6. Meneses, N. Modelling of polyphenoloxidase inactivation by pulsed electric fields considering coupled effects of temperature and electric field / N. Meneses, G. Saldana, H. Jaeger, J. Raso, I. Alvarez, G. Cebrian // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* – 2013. – № 20. – P. 126-132. – doi: 10.1016/j.ifset.2012.12.009.
7. Святненко, Р. С. Вплив імпульсних електричних полів на амінокислотний склад незбираного молока / Р. С. Святненко, А. І. Українець, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко, М. І. Бойко // *Наукові праці НУХТ*. – 2018. – № 1. – С. 119-126. – doi: <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26850>.
8. Fojt, L. Effect of electromagnetic fields on the denitrification activity of *Paracoccus denitrificans* / L. Fojt, L. Strásák, V. Vetterl // *Bioelectrochemistry*. – 2007. – №70(1). – P. 91-95. – doi: 10.1016/j.bioelechem.2006.03.
9. Wouters, P. Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing / P. Wouters, I. Alvarez, I. Raso // *Trends Food Sci. Technol.* – 2001. – № 12. – P. 112-121.
10. Svyatnenko, R. Influence of pulsed electric fields on microbiological indices and content of vitamin C in whole milk / R. Svyatnenko, A. Marynin, A. Makogon, O. Fursik // *Scientific Bulletin of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 2017. – Вип. 19 (80). – 29-32. – doi: 10.15421/nvlvet8006.
11. Святненко, Р. С. Дослідження обробки незбираного молока імпульсними електричними полями / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко, О. П. Фурсік // *Науковий журнал «Техніка та енергетика»*, 2018. – Вип. 268. – С.118-124. – doi: <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26849>.
12. Слива, Ю. В. Вплив електрогідралічного ефекту на мікрофлору дифузійного соку / Ю. В. Слива, Л. М. Хомічак, В. М. Логвін, А. І. Маринін // *Цукор України*. – 2005. – № 4. – С. 20-22. – doi: <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1431>.
13. Маринін, А. І. Розроблення та застосування імпульсного електрогідралічного способу оброблення сировини рослинного походження / Маринін Андрій Іванович. Дис... канд. наук: 05.18.12 – 2007.
14. Олишевский В. В. Влияние электрогидравлической обработки на сокоотружечную смесь сахарной свеклы / Олишевский В. В., Маринин А. И. // *Электронная обработка материалов*. – 2013. – 49 (5). – С. 109-113.

15. **Борисюк, В. О.** Деякі біологічні особливості цикорію коренецільного / **В. О. Борисюк, К. М. Маковецький** // *Зб. наук. праць ІЦБ*. – 2000. – Вип. 2. – С. 144-151.
16. **Бобровник, Л. Д.** Кинетика гидролиза инулина / **Л. Д. Бобровник, Н. Ю. Зинченко, А. А. Герасименко** // *Сх. Пром-ть*. – 1984. – № 9. – С. 26-27.
17. **Yupta, A. K.** Potential medical and nutritional use of chicory roots and inuline / **A. K. Yupta, N. Kanz, M. Kanz, R. Singh**. – Amsterdam-London-New York-Tokyo: Elsevier, 1993. – P. 359-365.
18. **Гринкевич, Н. И.** Лекарственные растения: Справочное пособие / **Н. И. Гринкевич, И. А. Баландина, В. А. Ермакова** и др. – М.: Высшая школа. 1991. – 397 с.
19. Лікарські рослини. Енциклопедичний довідник / За ред. Акад. АНУРСР А.М. Гродзінського. – Київ: Головна редакція УРЕ ім. М.П. Бажана, 1989. – 544 с.
20. **Попова, И. В.** Фруктозо-инулоолигосахаридные сиропы из цикория / **И. В. Попова, Ю. В. Слива** // *Сахар*. – 2012. – № 6. – С. 58-61.
21. **Бочарова, О. В.** Сучасні аспекти формування якості харчових продуктів / **О. В. Бочарова** // *Харчова наука і технологія*. – 2010. – № 4. – С. 22-25.
22. **Вагабов, М. В.** Оптимизация ферментативного процесса гидролиза инулина из топинамбура / **М. В. Вагабов, З. М. Мангуева, П. Д. Мурзаева** // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. – 2007. – № 12. – С. 113-115.
23. **Ricca, E.** Optimization of inulin hydrolysis by inulinase accounting for enzyme time- and temperature-dependent deactivation / **E. Ricca** // *Biochemical engineering journal*. – 2009. – Vol. 48. – № 1. – P. 81-86. – doi: 10.1016/j.bej.2009.08.009.
24. **Saber, W. I.** Optimization of fermentation conditions for the biosynthesis of inulinase by the new source; *Aspergillus tamarii* and hydrolysis of some inulin containing agro-wastes / **W. I. Saber** // *Biotechnology*. – 2009. – Vol. 8. – № 4. – P. 425-433. – doi: 10.3923/biotech.2009.425.433.
- О., Boyko, M.** Doslidzhennya vplyvu impulsnykh elektromagnitnykh poliv na organoleptychni pokaznyky` nezbyranogo moloka [Investigation of the influence of pulsed electromagnetic fields on the organoleptic parameters of whole milk]. *NV LNU veterinary`narnoyi medycyny` ta biotekhnologij. Seriya: Xarchovi tekhnologiyi*, 2017, **19**(75), 157-160.
4. **Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V., Zakharevych, V. B.** Vlianye ymпульсноho элекромагнитноho поля на zhyznesposobnost Escherichia coli v modelnom rastvore molochnoi syvorotky [Influence of pulsed electromagnetic field on viability of escherichia coli in model solution of milk serum]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterinary`narnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni SZ Gzhytskoho*, 2016, **18**, 2-3 (68), 92.
5. **Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Ukrainets, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V.** Vplyv impulsnoho elektromagnitnoho поля na zhytietzdatnist Escherichia Coli v modelnomu rozchyni vody [Impact of pulsed electromagnetic field on the viability of Escherichia coli in model water solution]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK*, 2016, **252**, 185-191.
6. **Meneses, N., Saldana, G., Jaeger, H. Raso, J., Alvarez, I., Cebrian, G.** Modelling of polyphenoloxidase inactivation by pulsed electric fields considering coupled effects of temperature and electric field. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2013, **20**, 126-132.
7. **Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Cullen, P.J.** Effect of nonthermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science and Technology*, 2009, **20**, 137-145.
8. **Fojt, L., Strásák, L., Vetterl, V.** Effect of electromagnetic fields on the denitrification activity of *Paracoccus denitrificans*. *Bioelectrochemistry*, 2007, **70**(1), 91-95.
9. **Wouters, P., Alvarez, I., Raso, I.** Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing. *Trends Food Sci. Technol.*, 2001, **12**, 112-121.
10. **Svyatnenko, R. et al.** Influence of pulsed electric fields on microbiological indices and content of vitamin C in whole milk. *Scientific Bulletin of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 2017, **19**, 80, 29-32, doi: 10.15421/nvlvet8006.
11. **Svyatnenko, R. S., Marynin, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V., Fursik, O. P.** Doslidzhennya obrobky nezbyranogo moloka impulsnymy elektrychnymy polygamy [Investigation of the processing of whole milk by pulsed electric fields] *Naukovyy zhurnal «Tekhnika ta enerhetyka»*, 2018, **268**, 118-124, doi: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26849>.
12. **Slyva, Yu. V., Xomichak, L. M., Logvin, V. M., Marynin, A. I.** Vplyv elektrogidravlichnoho efektu na mikrofluру dyfuzijnogo soku [Influence of electrohydraulic effect on microflora of diffusion juice]. *Tsukor Ukrainy*, 2005, **4**, 20-22.
13. **Marynin, A. I.** Rozroblennia ta zastosuvannia impulsnoho elektrogidravlichnoho sposobu obroblyennia syrovyny rosllynnoho pokhodzhennia [Development and application of pulsed electrohydraulic method of

## References (transliterated)



- processing raw materials of vegetable origin] *Doctoral dissertation, stupenia kand. tekhn. nauk: 05.18.12* "Protsesty ta obladnannia kharchovykh, mikrobiolohichnykh ta farmatsevtichnykh vyrobnytstv", 2007.
14. **Olishevskiy, V. V., Marinin, A. I.** Vliyanie elektrogidravlicheskoj obrabotki na sokostruzhechnuyu smes saharnoy sveklyi [Influence of electrohydraulic processing on the sugar beet juice mixture]. *Elektronnaya obrabotka materialov*, 2013, **49** (5), 109-113.
15. **Borysyuk, V. O., Makoveczkyj, K. M.** Deyaki biologichni osoblyvosti cykoriyu koreneplidnogo [Some biological features of chicory root]. *3b. nauk. prac ICzB*, 2000, **2**, 144-151.
16. **Bobrovnyk, L. D., Zinchenko, N. Yu., Gerasymenko, A. A.** Kynetyka gydrolyza ynulyna [Inulin hydrolysis kinetics]. *Sax. Prom-t.* 1984, **9**, 26-27.
17. **Yupta, A. K., Kanz, N., Kanz, M., Singh, R.** Potential medical and nutritional use of chicory roots and inuline. *Amsterdam-London-New York-Tokyo*: Elsevier, 1993, 359-365.
18. **Grinkevich, N. I., Balandina, I. A., Ermakova, V. A.** Lekarstvennyye rasteniye: Spravochnoe posobie [Medicinal plant: Reference Guide]. *M.: Vysshaya shkola*, 1991, 397.
19. Likarski roslynny. Encyklopedychnyj dovidnyk [Medicinal plant: Reference Guide]. Za red. Akad. ANURSR A.M. Grodzinskogo. Kyiv: *Golovna redakciya URE im. M.P. Bazhana*, 1989, 544.
20. **Popova, I. V., Sliva, Yu. V.** Fruktozo-inulooligosaharidnyie siropy iz tsikoriya [Fructose inulooligosaccharide syrups from chicory]. *Sahar [Sugar]*, 2012, **6**, 58-61.
21. **Bocharova, O. V.** Suchasni aspekty formuvannya yakosti xarchovykh produktiv [Modern aspects of the formation of food quality] *Xarchova nauka i texnologiya [Food Science and Technology]*, 2010, **4**, 22-25.
22. **Vagabov, M. V., Mangueva, Z. M., Murzaeva, P. D.** Optimizatsiya fermentativnogo protsessa gidroliza inulina iz topinambura [Optimization of the enzymatic process of hydrolysis of inulin from Jerusalem artichoke]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science]*, 2006, **12**, 113-115.
23. **Ricca, E.** et al. Optimization of inulin hydrolysis by inulinase accounting for enzyme time- and temperature-dependent deactivation. *Biochemical engineering journal*. – 2009, **48**, 1, 81-86.
24. **Saber, W. I. A.** et al. Optimization of fermentation conditions for the biosynthesis of inulinase by the new source; *Aspergillus tamarii* and hydrolysis of some inulin containing agro-wastes. *Biotechnology*, 2009, **8**, 4, 425-433, doi: 10.3923/biotech.2009.425.433.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Маринін Андрій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; ORCID: 0000-0001-6692-7472; e-mail: andrii\_marynin@ukr.net.

**Andrii Marynin** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-6692-7472; e-mail: andrii\_marynin@ukr.net.

**Позняковський Сергій Володимирович** – технік першої категорії Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; e-mail: poznsergej7@ukr.net.

**Sergey Poznyakovsky** – first class technician, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; poznsergej7@ukr.net

**Бреус Наталія Миколаївна** – кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; e-mail: ORCID: 0000-0002-0213-9159; e-mail: breusnm@ukr.net.

**Natalia Breus** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0213-9159; e-mail: breusnm@ukr.net.

**Святненко Роман Сергійович** – науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; ORCID: 0000-0003-0895-6982; e-mail: svyatnenko@i.ua.

**Roman Svyatnenko** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0895-6982; e-mail: svyatnenko@i.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

**Маринін, А. І.** Дослідження впливу електрогідравлічного оброблення на отримання фруктозо-олігосахаридних сумішей / **А. І. Маринін, С. В. Позняковський., Н. М. Бреус, Р. С. Святненко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 93-100. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.12.

Please cite this article as:

**Marynin, A., Poznyakovsky, S., Breeus, N., Svyatnenko, R.** Study of the effect of electro-hydraulic treatment on receiving of fructose-oligosaccharide mixtures. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **10** (1335), 93-100, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.12.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Маринин, А. И.** Исследование влияния электрогидравлической обработки на получение фруктозо-олигосахаридных смесей / **А. И. Маринин, С. В. Позняковский, Н. М. Бреус, Р. С. Святненко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2 019. – № 10 (1335). – С. 93-100. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.12.

**АННОТАЦИЯ** Создание продуктов оздоровительного назначения на основе сырья, которое содержит в своем составе значительное количество инулина, расширение ассортимента за счет биологически активных добавок – важное направление развития пищевой промышленности. Но эта продукция часто имеет иностранное происхождение и высокую стоимость. Поэтому сегодня насущной необходимостью является разработка отечественных продуктов питания профилактического назначения на основе растительного сырья, в частности инулиноносителей. На сегодняшний день в пищевой и перерабатывающей промышленности все больше находят применение электрофизические методы обработки пищевых продуктов и полупродуктов, одним из которых является электрогидравлическая обработка. Основными преимуществами этой технологии, является сохранение пищевых свойств продуктов, универсальность, которая позволяет применять их в различных технологических процессах, экономичность благодаря использованию целого комплекса высоко интенсивных физических факторов, экологичность за счет исключения использования тепла. В Проблемной научно-исследовательской лаборатории Национального университета пищевых технологий были проведены экспериментальные исследования с целью изучения действия влияния электрогидравлической обработки на гидролиз инулина. Исследования проводились с использованием экспериментальной установки, разработанной специалистами НУХТ. Исследования проводили следующим образом: инулин разводили в воде при комнатной температуре до содержания сухих веществ в растворе или суспензии от 2 до 30%. Для набухания зерен полисахарида порошки замачивали в воде на 72 часа, после чего образцы подвергали электрогидравлической обработке на экспериментальной установке при напряжении 30, 35 и 40 кВ. Во время исследования было выяснено, что независимо от концентрации суспензии порошка цикория и инулина, наиболее рациональным является режим электрогидравлического обработки с напряжением 35 кВ и количеством разрядов 20 ... 30, что способствует наибольшему переходу редуцирующих веществ. Установлено, что независимо от концентрации суспензии порошка цикория и инулина, наиболее рациональным является режим электрогидравлической обработки с напряжением 35 кВ и количеством разрядов 20 ... 30, что способствует наибольшему переходу редуцирующих веществ. Экспериментально установлено влияние режимов электрогидравлического обработки на измельчение порошка цикория, следствием чего является увеличение дисперсности, что улучшает процесс гидролиза. Доказано, что рост количества разрядов приводит к активации в этих условиях рекомбинационных процессов.

**Ключевые слова:** электрогидравлическая обработка; цикорий; гидролиз инулина; редуцирующие вещества; двух факторная модель

*Поступила (received) 08.04.2019*